

⑫ 公開特許公報(A) 平3-174791

⑤ Int. Cl.<sup>5</sup>  
H 01 S 3/18

識別記号 庁内整理番号  
6940-5F

⑬ 公開 平成3年(1991)7月29日

審査請求 未請求 請求項の数 8 (全27頁)

⑭ 発明の名称 分布帰還形半導体レーザ、その製造方法、及び波長可変コヒーレント光源

⑮ 特 願 平2-184832

⑯ 出 願 平2(1990)7月12日

優先権主張 ⑰ 平1(1989)7月15日 ⑱ 日本(JP) ⑲ 特願 平1-184144

⑳ 発 明 者 荻 田 省 一 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内

㉑ 発 明 者 小 滝 裕 二 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社内

㉒ 出 願 人 富士通株式会社 神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地

㉓ 代 理 人 弁理士 伊東 忠彦 外2名

最終頁に続く

明 細 書

1. 発明の名称

分布帰還形半導体レーザ、その製造方法、及び波長可変コヒーレント光源

2. 特許請求の範囲

(1) 半導体基板(101)と、半導体基板上に形成され光を導波する光導波層(103)と、半導体基板上の光導波層近傍に形成されキャリアを注入されてキャリアの再結合に伴う誘導放出より光を発生させる活性層(104)と、活性層上に形成され、活性層中の光を活性層中に閉じ込めるクラッド層(106)と、光導波層中に形成され活性層中に形成された光を前後に反射する回折格子(102)と、クラッド層上に形成され活性層中にクラッド層を介してキャリアを注入する第1の電極(108a, 108b, 109)と、基板上に形成され活性層中に基板を介してキャリアを注入する第2の電極(110)とを備えた分布帰還形半導体レーザにおいて、

該第1の電極は複数の、相互に離間した電極部分よりなり、少くとも一の電極部分(109)は活性層中に生じる光の強度分布が最大となる位置にキャリアを注入するように設けられていることを特徴とする分布帰還形半導体レーザ。

(2) 該複数の相互に離間した電極部分のうち、少くとも一の電極部分(108a, 108b)は活性層中に生じる光の強度分布が最小となる位置にキャリアを注入するように設けられていることを特徴とする請求項1記載の分布帰還形半導体レーザ。

(3) さらに活性層中の光を局所的に集中させて光強度分布に極大を生ぜしめる集光手段(115)を回折格子(102)中に少くとも一個所備えたことを特徴とする請求項1記載の分布帰還形半導体レーザ。

(4) 該回折格子は規則的な凹凸のくりかえしよりなり、該集光手段は回折格子中に前記規則的な凹凸のくりかえしを中断するように設けられた位相シフト領域よりなり、該位相シフト領域は、前記規則的な凹凸のくりかえしのピッチがその両側

で同一になるように、また前記規則的な凹凸のくりかえしの位相がその両側で変化するように形成された領域であることを特徴とする請求項 3 記載の分布帰還形半導体レーザ。

(5) 分布帰還形半導体レーザを使った波長可変コヒーレント光源であって、

該分布帰還形半導体レーザは、半導体基板(101)と、半導体基板上に形成され光を導波する光導波層(103)と、半導体基板上の光導波層近傍に形成されキャリアを注入されてキャリアの再結合に伴う誘導放出より光を発生させる活性層(104)と、活性層上に形成され、活性層中の光を活性層中に閉じ込めるクラッド層(106)と、光導波層中に形成され活性層中に形成された光を前後に反射する回折格子(102)と、クラッド層上に形成され活性層中にクラッド層を介してキャリアを注入する第 1 の電極(108a, 108b, 109)と、基板上に形成され活性層中に基板を介してキャリアを注入する第 2 の電極(110)とを備え、該第 1 の電極は複数の、相互に離間した電極部分よりなり、

- 3 -

を検出する検出手段とを備え、

該第 2 の電流源手段は該検出手段の検出した分布帰還形半導体レーザの出力光ビームの強度に応じて、該出力光ビームの強度が一定になるように、第 2 の注入電流を制御することを特徴とする波長可変コヒーレント光源。

(7) 請求項 1 記載の分布帰還形半導体レーザにおいて、

該活性層及び光導波層は半導体レーザの長手方向に延在するメサ構造を形成し、該クラッド層はメサ構造がクラッド層中に埋設するように形成され、

メサ構造の両側には複数の、各々半導体レーザの長手方向に延在する溝が、クラッド層表面から少なくとも活性層及び光導波層の両側に達するように、しかも半導体レーザの長手方向に相互に離間して形成されており、

該複数の、相互に離間した電極部分は、該複数の溝に対応して形成されていることを特徴とする分布帰還形半導体レーザ。

少なくとも一の第 1 の電極部分(109)は活性層中に生じる光の強度分布が最大となる位置にキャリアを注入するように設けられ、少なくとも一の第 2 の電極部分(108a, 108b)は活性層中に生じる光の強度分布が最小となる位置にキャリアを注入するように設けられており、

該第 1 の電極部分及び該第 2 の電極部分にはそれぞれ第 1 及び第 2 の注入電流が、第 1 の注入電流が第 2 の注入電流以下になるように供給され、

該第 1 の電極部分にはさらに変調信号が、第 1 の注入電流に重畳されて供給されることを特徴とする波長可変コヒーレント光源。

(6) 請求項 5 記載の波長可変コヒーレント光源において、

第 1 の電極部分に第 1 の注入電流と、第 1 の注入電流に重畳された変調信号とを供給する第 1 の電流源手段と、

第 2 の電極部分に第 2 の注入電流を供給する第 2 の電流源手段と、

分布帰還形半導体レーザの出力光ビームの強度

- 4 -

(8) 請求項 7 記載の分布帰還形半導体レーザを製造する方法であって、

クラッド層表面から、複数の、各々半導体レーザの長手方向に延在する溝を、メサ構造の両側に、半導体レーザの長手方向に相互に離間して形成し、

クラッド層表面及び溝表面を絶縁物の層で覆い、該絶縁物層のうち両側に溝が形成されている領域上に、該複数の相互に離間した電極部分に対応してクラッド層表面を露出する複数の開口部を形成し、

該絶縁物層上に導体層を堆積し、

該導体層をパターニングして該複数の開口部に対応し、相互に離間した該複数の電極部分を形成する工程を有することを特徴とする方法。

### 3. 発明の詳細な説明

#### (概要)

活性層の近傍に設けられた回折格子により反射した光を生成して光を発振させる、可変周波数分布帰

環形半導体レーザ、その製造方法、及びかかる半導体レーザを使った波長可変コヒーレント光源に関する、

スペクトル線幅が狭く、周波数可変領域が広く、簡単な制御により出力強度を一定に保ったまま波長を変化させることができ、より高周波まで追隨することのできる可変周波数分布帰還形半導体レーザ及びその製造方法を提供することを目的とし、

半導体基板と、半導体基板上に形成され光を導波する光導波層と、半導体基板上の光導波層近傍に形成されキャリアを注入されてキャリアの再結合に伴う誘導放出より光を発生させる活性層と、活性層上に形成され、活性層中の光を活性層中に閉じ込めるクラッド層と、光導波層中に形成され活性層中に形成された光を前後に反射する回折格子と、クラッド層上に形成され活性層中にクラッド層を介してキャリアを注入する第1の電極(108a, 108b, 109)と、基板上に形成され活性層中に基板を介してキャリアを注入する第2の電極とを備

- 7 -

じる光の強度分布が最大となる位置にキャリアを注入するように設けられ、少くとも一の第2の電極部分が活性層中に生じる光の強度分布が最小となる位置にキャリアを注入するように設けられるように構成し、該第1の電極部分及び該第2の電極部分にはそれぞれ第1及び第2の注入電流を、第1の注入電流が第2の注入電流以下になるように供給し、該第1の電極部分にはさらに変調信号が、第1の注入電流に重畳されて供給されるように構成してなり、

前記分布帰還形半導体レーザを製造する方法において、クラッド層表面から、複数の、各々半導体レーザの長手方向に延在する溝を、メサ構造の両側に、半導体レーザの長手方向に相互に離間して形成し、クラッド層表面及び溝表面を絶縁物の層で覆い、該絶縁物層のうち両側に溝が形成されている領域上に、該複数の相互に離間した電極部分に対応してクラッド層表面を露出する複数の開口部を形成し、該絶縁物層上に導体層を堆積し、該導体層をパターニングして該複数の開口部に対

えた分布帰還形半導体レーザにおいて、該第1の電極は複数の、相互に離間した電極部分よりなり、少くとも一の電極部分は活性層中に生じる光の強度分布が最大となる位置にキャリアを注入するように構成してなり、

分布帰還形半導体レーザを使った波長可変コヒーレント光源において、該分布帰還形半導体レーザを半導体基板と、半導体基板上に形成され光を導波する光導波層と、半導体基板上の光導波層近傍に形成されキャリアを注入されてキャリアの再結合に伴う誘導放出より光を発生させる活性層と、活性層上に形成され、活性層中の光を活性層中に閉じ込めるクラッド層と、光導波層中に形成され活性層中に形成された光を前後に反射する回折格子と、クラッド層上に形成され活性層中にクラッド層を介してキャリアを注入する第1の電極と、基板上に形成され活性層中に基板を介してキャリアを注入する第2の電極とを備え、該第1の電極が複数の、相互に離間した電極部分よりなり、少くとも一の第1の電極部分が活性層中に生

- 8 -

じ、相互に離間した該複数の電極部分を形成する工程を有するように構成してなる。

#### 〔産業上の利用分野〕

本発明は、活性層の近傍に設けられた回折格子により反射波を生成して光を発振させる、可変周波数分布帰還形半導体レーザ、その製造方法及びかかる半導体レーザを使った波長可変コヒーレント光源に関する。

次世代の超大容量光ファイバー通信システムに関連して、コヒーレント光通信システムが研究されている。このコヒーレント光通信システムは、光の波としての性質を利用し、周波数変調や位相変調をかけて情報を伝送するものである。

半導体レーザは駆動電流を変化させると、光出力と共に発振する光の周波数も変化する性質を有する。送信側の半導体レーザの駆動電流に変調波を重畳することにより、光の周波数変調を行う周波数シフトキーイング(FSK)方式は、システムの構成が簡単なため、コヒーレント光通信に最

も有望な技術と期待されている。このFSK方式を実現するためには周波数変調特性の良好な半導体レーザが必要とされる。

#### (従来の技術)

光は波であるので電波と同様に周波数成分を持つ。マイクロ波通信等と同様に、光の周波数成分を変調すること等により通信に利用することができれば、光の周波数は200THz程度と極めて高いので十分多量の情報を搬送することができ、超大容量の光通信を実現する可能性を有している。

第21図(A)、(B)は従来の強度変調を使った光通信の例を示す。この場合は、レーザダイオードを第21図(A)に示す、閾値レベルを超える駆動パルスにより駆動することにより、第21図(B)に示すような、レーザダイオードのオンオフに対応する光出力が得られる。あるいは、半導体レーザと光変調器とを別々に作って強度変調を行うこともできる。この場合は半導体レーザからは一定光出力が得られるが、変調器が光を選

択的に吸収し、その出力には第21図(B)に示すものと同等の光出力が得られる。

しかし、このような強度変調光通信は、光が波であるという性質を利用していない。光は波であるので電波と同様に周波数成分を持つ。マイクロ波通信等と同様に光の周波数成分を変調することにより通信することができれば、光の周波数は200THz程度と極めて高いので十分多量の情報を搬送することができ、超大容量の光通信を実現すると思われる。実際に光の周波数を任意に所望量だけ変化させることはできなくても、何等かの手段によって光の周波数を変化させて、それを情報とすれば、光の波の性質を利用したコヒーレント光通信が可能となる。

半導体レーザでは一般にその駆動電流を変化させると発振波長も変化する。したがって、周波数変調をかけた光出力を提供できる能力を有する。

コヒーレント光通信では、受信側で光から信号成分を取出す際に、ヘテロダイン/ホモダイン検波と呼ばれる方法が用いられる。このヘテロダイ

- 1 1 -

ン/ホモダイン検波は、マイクロ波通信やTV、ラジオ等で幅広く用いられているもので、受信側に搬送波と同じ周波数の局部発振器を備え、受信した信号と局部発振器からの信号とを混合し、そのビート信号を用いて必要な信号成分をフィルタして取出す。すなわち、 $f_1 \pm \Delta f_1$ の信号を受信し、局部発振器から $f_1$ の信号を受け、両者を混合して $\Delta f_1$ の信号を取出す。この場合、伝送する信号として中心周波数が $f_1$ の信号と共に、 $f_2$ 、 $f_3$ 、 $f_4$ というように中心周波数の異なる信号を周波数多重化して伝送し、受信側でその内の1を選択して受信することができる。

発振側のレーザは、所定の中心周波数 $f$ の周りで周波数変調を行う。分解能を高くするには、その周波数スペクトルの半値幅が狭いほどよく、同一の周波数範囲内に多量の情報を装架できる。また、変調特性は平坦で、応答速度が速いことが望まれる。

光通信において、 $f_1$ 、 $f_2$ 、 $f_3$ …のような複数の周波数の光を用い、それらそれぞれに信号

- 1 2 -

成分を重畳して周波数を変化させる場合、受信側でこれらの信号から必要な信号を取出す時に、局部発振器として1つのレーザが $f_1$ 、 $f_2$ 、…の各固定周波数で発振できることが望ましい。1つのレーザ発振器でいくつもの局部発振周波数を実現するためには、周波数を広く変調することが望まれる。送信側においては、変調周波数帯域なるべく平坦な特性が望ましく、また、なるべく狭い周波数帯で多くの情報を伝達するために、できるだけ半値幅の狭い発振が望ましい。

波長可変レーザをコヒーレント光通信で用いるためには、波長が自由に変えられるだけでなく、出力光強度が一定であり、発振スペクトル線幅が十分狭いことが要求される。出力光強度が一定でなければならぬのは、周波数変調された光を復調する際に光強度が変化すると、復調した電気信号に光強度の変化成分が混入してしまい、S/N比が低下するからである。また、発振スペクトル線幅が十分狭くなくてはならないのは、先に説明したように、コヒーレント光通信が光に周波数変

調をかけて伝送しているので、搬送は自信の周波数ゆらぎが十分少ないことが要求されるからである。

波長を変えられる半導体レーザとして、従来より分布帰還形半導体レーザが知られている。

第22図(A)、(B)に従来の技術による埋め込み型の単一電極を有する半導体レーザを示す。第22(A)が横断面図、第22(B)が縦断面図である。

第22図(B)において、たとえばn型のInP基板201の上に回折格子202を形成し、その上にn型GaInAsP層からなる光導波層203を形成し、その上にi型GaInAsP層からなる活性層204を形成し、その上をp型InPからなるクラッド層205で覆う。基板201の下面とp型クラッド205上面にそれぞれ単一電極208,206を形成する。

電気的には、p型領域とn型領域とからなるダイオード構造を構成している。また、光学的には活性層204の上下をより低屈折率の層203,205が挟んで光閉じ込め構造を構成している。

- 15 -

半導体レーザの上述の変調効率のスペクトルを概略的に示すグラフである。

周波数変調効率が、駆動電流の変調周波数10~100MHz付近において著しく低下してしまうことが判る。このように、周波数領域中の中間部分の特性が低下するとその補正は極めて面倒なものとなる。

かかる中間周波数領域での変調効率の低下は、主に100MHz以下の周波数領域で支配的な熱的に誘起された変調作用と100MHz以上の周波数領域で支配的なキャリアとフォトンの相互作用による変調作用とがこの周波数領域で打消し合うためと考えられる。低周波側の熱の効果は、電流を上げた場合(キャリア数を増やした場合)に、屈折率が増大、発振波長が長波長側へシフトする赤方変移であるのに対して、高周波側でのキャリアとフォトンとの相互関係によって生じる効果は、キャリア数を増やした場合に、屈折率が減少し、発振波長が短波長側へシフトする青方変移である。

- 17 -

第22図(A)の横断面図を参照すると、活性層204から基板201にかけてメサ構造が形成されている。このメサの側面をp型InP埋め込み層211、n型InP埋め込み層212が埋め込んで、間にpn接合213を形成している。

これらの埋め込み層211,212は、横方向に電気的には電流阻止の機能を有し、光学的には活性層204に対して光閉じ込め機能を有する。

このように半導体レーザ構造が構成され、p側電極206からn側電極208に向かって電流を流すと、レーザ発振を生じさせる。

かかる従来の埋め込み型等の単一電極型レーザでも、駆動電流に応じて発振周波数を変化させることができる。

半導体レーザの周波数変調特性を評価する1つの方法として、ある周波数の一定強度の駆動電流に対する光の発振周波数の変化の量をその周波数での変調効率として、変調周波数を変えてスペクトルを測定する方法がある。

第22図(C)は従来の単一電極埋め込み構造

- 16 -

〔発明が解決しようとする課題〕

一方、従来より、広い周波数領域に亘って発振周波数を安定に可変でき、かつ発振周波数の瞬間的な揺らぎに基づく発振スペクトルの広がり(スペクトル線幅)が狭い光源の1つとして、電極の一方を複数個の電極部分に分割した多電極DFB(分布帰還)レーザが知られている(Y.Yoshikuni et al. "Broad wavelength tuning under single-mode oscillation with a multi-electrode distributed feedback LASER", Electronics Letters vol 22, 23rd October 1986)。

この多電極DFBレーザは2電極素子であるDFBレーザの一方の電極(たとえばp側電極)を2個以上に分割し、分割した各電極に注入する電流の比率を変えることにより、レーザの発振状態を変化させ、発振周波数を変化させるものである。

第23図に従来の技術による多電極DFBレーザの例を示す。

n型InP基板201の上に回折格子202が形成さ

れ、その上にn型InGaAsP光導波層203が形成されている。この光導波層203の上に、エネルギーギャップがさらに狭いi型InGaAsP活性層204が形成され、その上をp型InPクラッド層205が覆っている。基板201上にn側電極208、p型クラッド層上に2つに分割したp側電極206a、206bが形成されている。なお、キャビティの片側の表面上には反射防止膜209が形成されている。

このような構成において、p側電極206aと206bを通して流す電流 $I_1$ 、 $I_2$ の比率を変化させる。すると、電流変化によってキャリア濃度の変化が生じ、たとえば第23図下側に示すように、キャビティ内での光強度が場所によって変化する。このように、キャリア濃度、光強度が変化すると、レーザ内の屈折率、従って回折格子の実効的ピッチが変化し、発振周波数も変化する。かかるキャリア濃度の不均一分布は、屈折と利得の不均一分布を引き起こす。その結果DFBレーザ全体として、レーザ発振に必要な、振幅条件（一往復して強度が1になる）や位相条件（一

往復した時丁度同位となる）が変化し、その結果レーザ発振を維持するのに必要な全キャリア数も変化する（=しきい値キャリア密度）。局所的なキャリア数の変化によって共振器全体のキャリア数の変化によって引き起こされた、屈折率や利得の変化によって共振器全体のキャリア数が変わるので発振波長及び光出力が変わる。

この従来の多電極分布帰還形半導体レーザでは、電流 $I_1$ 、 $I_2$ の比 $R = I_1 / (I_1 + I_2)$ を変化させることにより、第24図に示すように発振波長が変化する。すなわち、電流 $I_1 = I_2$ （ $R = 0.5$ ）の場合に比べて、電流 $I_1$ を少なくする（ $R = 0.2$ ）と発振波長は短くなり、電流 $I_1$ を多くする（ $R = 0.7$ ）と発振波長は短くなる。

このような構成により、スペクトル線幅が数～10 MHz、光出力がmW程度の周波数可変光出力が得られる。

しかしながら、第24図に示すように単に比Rを変えただけでは、発振波長と共に光強度も変化

- 10 -

してしまうという問題があった。したがって、従来の多電極分布帰還形半導体レーザを用いて光出力強度を一定に保ったまま波長を変化させるためには、各電極52a、52bから注入する電流 $I_1$ 、 $I_2$ を光強度と発振波長の両面を考慮して総合的に制御する必要があり、複雑な制御を行わなければならないという問題があった。

また、従来の多電極DFBレーザによれば、1 GHz程度までの平坦な周波数変調効率が可能となったが実用上は10 GHz以上までの変調が必要とされており、従来の多電極DFBレーザでは周波数特性が不十分であった。

本発明は上記事情を考慮してなされたもので、スペクトル線幅が狭く、周波数可変領域が広い周波数可変半導体レーザを提供することを目的とする。

本発明の他の目的は、簡単な制御により、光出力強度を一定に保ったまま波長を変化させることができる分布帰還形半導体レーザを提供することを目的とする。

- 20 -

本発明の他の目的は、より高周波まで追従することのできる埋め込み構造・多電極型の半導体発光装置を提供することである。

また、本発明の他の目的は、このような高速動作・埋め込み構造・多電極型の半導体発光装置の製造方法を提供することである。

#### 〔課題を解決するための手段〕

第1図を参照するに、本発明は上記の課題を、活性層104と、活性層の近傍に形成された回折格子102とを備えた分布帰還形半導体レーザ100において、活性層中に光強度が最大になる部分に対応して第1の注入電極109を設け、活性層中の光強度が最小になる部分に対応して第2及び第3の注入電極108a、108bを設け、第1の注入電極に供給される注入電流を制御して発振波長を制御すると共に、第2及び第3の注入電極に供給される注入電流を制御して光出力を一定に維持することができる分布帰還形半導体レーザにより解決する。

## 〔作用〕

本発明の分布帰還形半導体レーザでは、光強度が強い部分に電流を注入すると、光強度及び発振波長が共に大きく変化する。これは、第1図下のグラフに示すように、光強度Pが強い部分では再結合によりキャリアNの減少が生じており、この状態で第1の注入電極109からキャリアJ1を注入するとその部分で活性層の屈折率が大きく変化するためである。これに対し、光強度が弱い部分にキャリアJ2を注入すると、全体の光強度に対する割合は低いため波長はほとんど変化しないが、この部分での利得は変化するため出力光の強度は変化する。

本発明による分布帰還形半導体レーザのこのような性質を利用すれば、光出力を一定に保ちつつ波長を変化させることができる。すなわち、光強度が強い部分に対応して設けられた第1の注入電極からの注入電流I<sub>1</sub>を制御して波長を可変し、光強度が弱い部分に対応して設けられた第2、第3の注入電極からの注入電流I<sub>2</sub>を制御して光出

力を可変する。したがって、出力レーザ光を検出する検出手段を設けて、この検出出力をフィードバックさせて注入電流I<sub>1</sub>を制御すれば、光出力を一定に保ちつつ波長を変化させることができる。

## 〔実施例〕

以下、本発明を、本発明第1実施例について、第2(A)、(B)図～第5図(A)、(B)を参照して説明する。

第2図(A)を参照するに、本発明第1実施例による半導体レーザは電極分布帰還形半導体レーザと呼ばれるものであり、n型InPの基板101上に光導波層103が形成されている。この光導波層103は、厚さdが約0.1μm、バンドギャップエネルギーに相当する波長であるEL波長λ<sub>g</sub>が約1.3μm、不純物濃度nが $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ のn型GaInAsPである。

第2図(A)の断面図に示されているように、基板101と光導波層103との境界には、ピッチが約2400Åで、深さが約300～400Åの回折格子

- 23 -

102が形成されている。本実施例では回折格子102の位相を中央の4/λシフト領域115でλ/4だけシフトさせて後述する活性層104における光強度分布が不均一になるようにしている。

光導波層103上には、厚さdが約0.1μmでEL波長λ<sub>g</sub>が約1.55μmのGaInAsPの活性層104が形成されている。この活性層104を保護するためのp型GaInAsP(EL波長λ<sub>g</sub>=1.3μm、不純物濃度p= $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さd=0.06μm)のメルトバック防止層105が形成されている。更に、メルトバック防止層105上にはp型InP(不純物濃度p= $5 \times 10^{17} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さd=1～2μm)のクラッド層106が形成されている。光導波層103及び活性層104は回折格子102と共に光共振器103aを形成する。

基板101の下面にはAuGe/Auのn側電極110が全面に形成されている。クラッド層106上には、オーミックコンタクトを取るために、p<sup>+</sup>型GaInAsP(不純物濃度p= $1 \times 10^{19} \text{ cm}^{-3}$ 、厚さd=0.2μm)のコンタクト層107a、107b、107cを介し

- 24 -

てp側電極である波長可変用電極109と光出力制御用電極108a、108bが形成されている。

また分布帰還形半導体レーザの両側面には、例えば発振波長の4分の1厚さの(約2000Å)SiNで作られた反射防止膜111が形成されている。

第2図(B)は横断面を示し、中央に示す共振器部分はメサ型構造を形成している。メルトバック防止層105がこのメサ型構造の頂上に位置している。メサ構造の側面はp型InP層112、n型InP層113、p型InP層106が埋め込んでいる。また、この埋め込み層の上にはSiO<sub>2</sub>等の絶縁層114が形成され、電流を遮断するようにされている。活性層104は高い屈折率を有し、その周囲にはより屈折率の低い光導波層103、メルトバック防止層105、クラッド層106、埋め込みInP層112、113が囲んでいる。このため、光閉じ込め構造が形成され、光強度分布は活性層104において最も強い。

かかる構造では、電極108a、108bあるいは109を介して注入されたキャリアは活性層104の両側



の、埋め込み層112及び113により形成されるp-n接合に伴って生じる空乏領域により水平方向に狭窄され、非常に効率よく活性層104中に注入される。

ところで、DFBレーザでは、一般に光が空間的に一様に分布して形成された回折格子により反射されて共振を生じるため、回折格子の中央部付近で左右両方向からの光の干渉により光強度が最大になる傾向があり、本実施例ではかかる活性層108中で光強度が最大になる位置に略対応して前記 $\lambda/4$ シフト領域115が形成されている。シフト位置115をこのように形成した場合、回折格子は領域115に対して略左右対称に形成されているため領域115に対応する活性層部分では強い光が存在するのに対し、領域115に対して図中で右又は左にオフセットした位置では回折格子の対称性が失われるため光干渉が弱く、光強度が弱くなる。第6図にシフト領域115を設けなかった場合の光強度分布をOで、シフト領域115を設けた場合の光強度分布をPで示す。

- 27 -

が形成されている。注入する電流密度が減少すると、キャリア密度分布Nも減少するが、その程度は谷の部分でより大きい。電流密度が減少しすぎると共振が停止する。注入する電流密度が上昇すると、キャリア密度分布も上昇するが、その程度はキャリア密度分布の谷の部分で特に著しく、敏感に反応して上に持ち上がる。そこで、光強度のピーク部分においてキャリア密度を低レベルにしておくと、供給する電流密度に応じて半導体中のキャリア密度が敏感に大きく応答する。従って、わずかな電流の変化により光の波長をより大きく変化させることができ、高効率の周波数変調を行うことができる。

光強度が強くと、キャリアが足りなくなっている部分のキャリア数は、外から加える電流によって非常に敏感に(わずかな変化でも大きく)変化し、しきい値キャリア密度を変化させ、波長が変化する。特に足りない部分へ補う形で制御すると、全体としては、キャリア数が足りなくなっている部分無くすことになり、全体のキャリア数(しき

本実施例では回折格子102のシフト位置115a上の光強度が強い領域にTi/Pt/Auの波長可変用電極109を設け、他の光強度が弱い領域に光出力制御用電極108を設けている。波長可変用電極109から電流I<sub>c</sub>が注入され、光出力制御用電極108から電流I<sub>s</sub>が注入される。

次に、本発明の動作原理を第6図を参照しながら説明する。

第3図は第1図とほぼ同様な、本発明の動作原理を説明する図である。

先にも説明したように、本発明の場合、共振器長の中で光強度PにピークP<sub>max</sub>が形成されている。このような場合、共振器の全長に一様に電流を印加したとすると、キャリアの消費は光強度の強い部分において強い。すなわち、消費されて残るキャリア密度は光強度が強い部分でより低くなる。第1図下側に示す曲線Nはこのように光強度分布が強い部分で低くなったキャリア密度分布を概略的に示している。光強度分布に反比例して光強度のピーク部分で谷になったキャリア密度分布

- 28 -

い値キャリア密度)は減少、共振波長は長くなる方向にうごく。これはつまり注入電流I<sub>c</sub>より生じるキャリアの効果が熱の効果と同位相の赤方変移を生じることを意味する。従って、直流状態では波長可変範囲の拡大が、また高周波的には、平坦なFM特性が実現できる。一方、電流I<sub>s</sub>を増やした場合には、局所的なキャリアの不均一をさらに強めることになり、全体のキャリア数は増大、共振波長は短くなる。この効果は、通常のDFBと同じであり、いわゆる熱の効果と打消し合って波長が実際にはほとんど動かない。また、もともと十分なキャリア数がある部分の電流を変えているため、相対的なキャリア数変化が小さく、いわゆるキャリアの効果は小さい。

また、光にも説明したように、光強度の強い所の電流密度を少なくすることにより、キャリアは、ますます足りなくなっているため、ほんのわずかなキャリア数の変動により、周波数は大きく変化する。つまり変調効率がより大きくなる。また、レーザ全体としては共振状態で用いている(どの



場所でも利得のある状態)ので、キャリアとフォトンの相互作用に基づく共鳴現象により10GHz以上の高周波まで、変調がかかる利点を得られる。

本実施例では、第3図に示すように、定電流源151が一方の電極108及び他方の電極108に接続され、変調信号源が電極109に接続されて、定電流源151からキャリアが電流密度J2で注入されることにより半導体レーザの駆動が行われ、変調電流源152からキャリアが電流密度J1で注入されることにより発振周波数の変調が行われる構成となっているが、その際無信号状態での電流密度J1をJ2と同等ないしそれ以下とすることにより( $J1 \leq J2$ )、最も効率的に電極109直下のキャリア密度を変化させることができ、従って最も効率的な変調を行うことができるのがわかる。

これに対し、従来の多電極DFBレーザでは、変調をかけるべき電極を非常に低バイアスで駆動して、発振閾値以下の状態で変調を行っていた。全体を発振閾値以下にすると、レーザ発振が停止してしまうが、他の部分を発振閾値以上にするこ

とによって、わずかに発振を維持している。このような状態では、光強度分布に顕著なピークは発生せず、第24図に示すように全体がほぼ一様の光強度分布を有していた。このような状態においては、周波数変調の効率はよいが、周波数応答が自然放出寿命時間程度(約1GHz)までという制約が伴う。すなわち、電流密度が閾値をわずかに越える程度であると、電流のうち、ほとんどの成分は自然発光に消費される。この自然発光は、レーザ発振光に取っては雑音となる。この自然放光は自然放出寿命時間で規定されるので、半導体発光装置全体の応答が自然放出寿命時間程度に製作されてしまう。

これに対して、レーザ全体として十分深い発振状態で動作させると、自然放光の雑音成分が少く、全体としてレーザ固有のいわゆる緩和振動周波数(約100GHz以上)までの平坦な特性を得ることができる。

第4図はこのような従来技術によるものと本発明の実施例によるものとの周波数変調効率を概略

- 3 1 -

的に対比して示す。

第4図中、実線で示した従来例は第24図に示したような2電極構成の半導体レーザの周波数対変調効率特性を示し、点線で示した従来例は第23図(C)に示した1電極構成の半導体レーザの同様な特性を示す。この図より明らかなように、2電極構成の半導体レーザの場合1GHzを超えた周波数域で周波数変調効率が急激に低下するのがわかる。また、1電極構成の場合は変調効率が中間の周波数域で低下するのは先に説明した通りである。これに対し、本発明によれば10GHzに近い周波数まで十分な変調効率を得ることができる。

次に、本実施例の分布帰還形半導体レーザにおいて注入電流I<sub>0</sub>、I<sub>1</sub>を変化させた場合の出力レーザ光の特性を第5図(A)、(B)に示す。

光出力制御用電極108a, 108bから注入される電流I<sub>0</sub>を一定にして、波長可変用電極109から注入される電流I<sub>1</sub>を増加させると、第5図(A)に示すように、出力レーザ光の波長は長くなり、光強度も強くなるように変化する。一方、波長可

変用電極109bから注入される電流I<sub>0</sub>を一定にして、光出力制御用電極108から注入される電流I<sub>1</sub>を増加させると、第5図(B)に示すように、出力レーザ光の波長は変化せず、光強度のみが変化する。したがって、波長可変用電極109による注入電流I<sub>0</sub>を変化させて波長を変化させ、光出力制御用電極108による注入電流I<sub>1</sub>により光出力強度を一定にするように制御すればよい。

第6図は本実施例の分布帰還形半導体レーザを波長可変で定出力動作可能なように制御する構成を示す。本実施例の分布帰還形半導体レーザ100の波長可変用電極109には変調信号源157が接続され、光出力制御用電極108a, 108bには光出力制御回路153が接続されている。出力レーザ光は分布帰還形半導体レーザ100の前方向から出力される。分布帰還形半導体レーザ100の後方向には、後方向から出力されるレーザ光を検出するために、例えばPINフォトダイオード等の光検出素子154が設けられている。光検出素子154の検出信号は光出力制御回路153にフィードバックされ、

- 3 2 -

光出力制御回路153は、この検出信号に基づいて出力レーザ光が一定になるようにフィードバック制御する。

分布帰還形半導体レーザ100の出力レーザ光の波長を変化させる場合には、変調信号源151の出力電圧を変化させて注入電流 $I_1$ を変化させる一方、発振波長の変化に応じて生じる光出力強度の変化を光検出素子154で検出し、検出信号に応じて光出力制御回路153から注入される注入電流 $I_1$ をフィードバック制御して光出力を一定に保つことができる。

第7図は本実施例の分布帰還形半導体レーザを波長可変で定出力動作可能なように制御する他の具体例である。本具体例では一方の光出力制御用電極108aには固定電源155により一定の電流 $I_1$ を注入し、他方の光出力制御用電極108bの注入電流 $I_2$ を光出力制御回路153によりフィードバック制御するものである。すなわち、変調信号源157の電圧を変化させて発振波長を変化させると共に、光出力制御回路153により光検出素子154

の検出信号に応じて注入電流 $I_2$ をフィードバック制御して光出力強度を一定に保つようにする。

このように本実施例によれば電極を波長可変用電極と光出力制御用電極とに分離し、これら波長可変用電極と光出力制御用電極により波長制御と光出力制御を独立に制御することができるので、簡単な制御により、光出力強度を一定に保ったまま波長を変化させることができる。

従来の半導体レーザの共振器長は、高々300～400 $\mu\text{m}$ であった。これは次のような理由による。半導体レーザは、主に液相成長(LPE)を用いて形成されていた。LPE成長の場合、面内方向に厚さ分布、組成分布が生じることが避け難い。均一な厚さおよび組成を求める場合には、共振器長として300～400 $\mu\text{m}$ が限度である。このため、レーザの共振器長は300～400 $\mu\text{m}$ であった。

本発明においては、レーザの共振器長として、少なくとも500 $\mu\text{m}$ 以上を選択している。500 $\mu\text{m}$ 以上とすることによって、組成分布、厚さ分布が生じることが避け難いが、長さを500 $\mu\text{m}$ 以上

- 35 -

とすることによって、まず発光の共振器内への閉じ込めの程度を強くし、スペクトル線幅を狭くすることが可能になる。すなわち、研究の結果、共振器長を500 $\mu\text{m}$ 以上とすることにより、数百kHz～2MHz程度の狭いスペクトル線幅を再現性よく得ることができることが判った。

長共振器化はまたレーザを駆動した時の発熱を効率よく逃がすことを可能にする。このため高出力化の点でも有効である。

共振器長を長くすると、さらに共振器内の光強度分布が生じ易くなり、たとえば中央付近にその他の部分より極めて強い光強度を実現することができる。

第8図は1/4波長シフト領域上の電極109の電極長と半導体レーザ全長の比に対する周波数可変範囲を調べた結果を示すグラフである。横軸は1/4波長シフト領域を有する部分上の電極の長さ $L$ 。のレーザ全長 $L_1$ に対する比 $L/L_1$ を示し、縦軸が電流を変えることによって周波数の変化する割合を示す。

- 36 -

1/4波長シフトを行った点の上の電極の長さを変えると周波数可変の程度が変化している。実用上必要とされる100GHz以上の周波数可変範囲を得ようとする、電極長の比率 $L/L_1$ の値は、約0.25以上あることが望ましいことが判る。

以上、本発明の第1実施例を説明したが、第3図に曲線Oで示したように、 $\lambda/4$ シフト領域115を必ずしも設けなくても活性層中に光強度分布のピークは生じるため、電極109をかかると自然に生じる光強度分布のピークに対応して設けることにより、本発明と同様な周波数変調を、効率は多少落ちるが行うことができる。

次に、本発明の第二実施例を説明する。

第9図(A)、(B)は本発明の第二実施例による半導体レーザ装置100'を示す。第9図

(A)は平面図、第9図(B)は第9図(A)中線12-12'に沿う切断面を示す斜視図である。第9図(B)を参照して説明すると、n型InP基板101の上にn型GaInAsP光導波層103が積層され、その上にi型のGaInAsP活性層104が積層さ

れて、メサ状にエッチングされている。この活性層104の両側には基板101と逆導電型のp型InP層112およびその上のn型InP層113が埋め込まれている。この上にp型InP層106がクラッド層として形成され、クラッド層の上をp<sup>+</sup>型GaInAsPコンタクト層107が覆っている。この表面から埋め込み層112,113間のpn接合を貫通して基板101に達する溝部141が活性層の両側に形成されている。但し、溝部は共振器長手方向に沿って連続しておらず、途中で分断されている。溝部を形成後、表面にはSiO<sub>2</sub>等の絶縁膜114'が形成され、電極を形成すべき部分には開口122が設けられている。この開口を介してp側電極108a,108bあるいは109がコンタクト層107にコンタクトする。また、n型基板101の下面にはn側電極110が形成されている。p側電極109は共振器長方向に連続せずに分断して形成されている。また、装置100'の両長手端には反射防止膜111が形成されている。

第9図(A)に示すように、共振器長方向に

沿って3つのp側電極セグメント108a,109,108bが形成され、その間には電極分離領域142が形成されている。電極分離領域142には溝部141は形成されておらず、平坦な表面を有する。

第1実施例の場合と同様に、n型GaInAsP光導波層103はEL波長約1.3μm、n型不純物濃度約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ 、厚さ約0.1μmを有する。i型GaInAsP活性層104はEL波長約1.55μm、厚さ約0.1μmを有する。p型InPクラッド層106はp型不純物濃度約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ を有する。活性層を含むメサの幅は、たとえば約1~2μm程度である。活性層の側部を埋め込むp型InP層112は、たとえばp型不純物濃度約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ を有し、n型InP層113は、たとえばn型不純物濃度約 $5 \times 10^{17} \text{cm}^{-3}$ を有する。GaInAsPコンタクト層107はp側電極のコンタクトを形成するための層であり、たとえばp型不純物濃度約 $1 \times 10^{18} \text{cm}^{-3}$ を有する。

本実施例では第9図(A)に示すように、複数のセグメント電極108a,108b,109の間に平坦な電

- 3 9 -

極分離領域142が存在するので、セグメント電極

相互間のバターンニングによる分離は完全になされ、このためセグメント電極間が短絡するような事故は容易に防止できる。また、活性層を含むレーザの実質的部分は溝部111によってその外側から分離されているので、埋め込み層のpn接合に伴う浮遊容量が大幅に低減される。これに伴い、1GHzを超えて10GHzに達する高速変調を安定に達成することが可能となる。

この電極分離領域142は光吸収領域として作用するため電極分離領域142の幅は余り長すぎないほうが好ましく、たとえば10~30μm程度にされる。

対になる溝部141の間の間隔は、活性層104、埋め込み層112,113を含んで共振器を画成する最も重要な部分であり、たとえばその幅は約5~8μm程度にされる。また、溝部141は電気的分離のための領域であると同時に、その上を電極が横断する領域であり、たとえば幅10~20μm程度にされる。また、溝の深さは、たとえば3~4μm程度にされる。

- 4 0 -

■である。

次に、第9図(A)、(B)に示したような半導体レーザの製造工程を説明する。

第10図(A)~(F)は溝部141を形成するまでの工程を説明するための図である。

第10図(A)を参照して説明するに、まずn型InP基板101上にn型GaInAsP光導波層103、i型GaInAsP活性層104、p型InPクラッド層106の1部を形成後、SiO<sub>2</sub>マスクを用いて、幅約1~2μmのメサ型にエッチングし、その後p型InP層112、n型InP層113を順次積層してメサ構造を埋め込み、次いでSiO<sub>2</sub>マスクを剥離し、残りp型InPクラッド層106、p<sup>+</sup>型GaInAsPコンタクト層107を積層し、埋め込み型レーザ構造を形成する。次いで、第10図(B)に示すようにコンタクト層107上にホトレジスト層120を形成し、溝部をエッチングすべき開口パターンを現像する。

次に、レジストマスク120を用いて溝部141をエッチングして第10図(C)の構造を形成し、

さらに第9図(B)に示すように、表面に $\text{SiO}_2$ 等の保護膜114'を形成する。溝部141によって画定される中央のメサ部分は、たとえば幅 $5 \sim 8 \mu\text{m}$ である。さらに保護膜114'に電極をコンタクトすべき開口122を設けて第10図(D)に示す構造を得る。

次いで、第10図(E)に示すように、保護膜114'上に開口部122を介してコンタクト層107と接触するようにTi/Pt層を全面に蒸着し、その上にレジストパターンを作成後、Au/Ge/Ni層を堆積する。レジストと不要なAu/Ge/Ni層を除去した後、Au/Ge/Ni層をマスクとして不要なTi/Pt層もRIEにより除去する。このようにして、Ti/Pt層とAu/Ge/Ni層とよりなる2層構造を有し、溝部111を横断する電極を108a, 108b, 109が形成される。また、基板底面上にはAu/Geからなるn側電極110を形成する。

このようにして、埋め込み構造を有し、多電極であり、かつ多電極の側部には溝部が形成された半導体レーザ装置が作成される。

- 43 -

クとして開口の端部に近付くに従って活性層に隣接する内側の辺が次第に活性層から離れるように変位する形状のものを使用する。

第12図(A), (B), (C)は活性層に平行な内縁を有する溝部を形成するためのマスク形状の例を示す。第12図(A)は開口部の端部に近付くに従って、内縁が次第に活性層から離れるように湾曲しかつ開口の幅が次第に狭くなり、開口部が刀の先端部に似た形状をしている場合を示す。

開口部の幅を $W$ とした時、内縁が次第に離れる形状をする部分の長さ $L$ は、たとえばストライプ幅 $W$ の4~5倍程度にする。

第12図(B)は開口部端部の形状が第12図(A)のような滑らかな曲線ではなく、三角形形状になった場合を示す。直線でパターンを構成できるのでマスクの形成が容易になる。ストライプの幅を $W$ とした時、三角形形状部分の長さ $L$ は、たとえばストライプ幅 $W$ のほぼ4~5倍程度にする。

第12図(C)はストライプの幅自身は変えず

上記の過程によれば、溝部141が共振器長手方向に沿って連続しておらず途中で分断されているため、セグメント電極108a, 108b, 109相互間の分離が完全になされ、寄生容量が溝部141により減少するのみならず、電極相互間の短絡が確実に防止される。

ここで、エッチング用マスクの開口形状と形成される溝部の形状について、第11図(A), (B)を参照して説明する。

第11図(A)に示すように、矩形形状の開口部121を有するマスクを用いてウェットエッチングを行うと、開口部の端面において半導体結晶の面によってエッチングレートが異なるため、形成される溝部の形状は、第11図(B)に示すように、端部が広がった形状になってしまう。溝部の間には活性層が配置されるので、溝141がこのような形状を有すると活性層が途切れる等実質的な影響を受けるようになり、所望の結果が得られなくなる。

そこで、本発明では溝部をエッチングするマス

- 44 -

に、ストライプ自身を外側にまげる場合を示す。幅の影響は利用せず、エッチング形状の変化をパターンの移動のみで補正するものである。たとえば2本のストライプの間の間隔が $x$ 、ストライプの幅が $W$ である時、ストライプの端部において、4~5 $W$ の長さにおいてストライプを次第に外側にまげ、その間の距離を $2x$ 程度まで拡げる。

このようなマスクを用いることによって、第13図の平面図に示すように活性層に対して実質的に平行な内縁を有する溝部141を作成することができる。

次に、回折格子102中に $\lambda/4$ シフト領域115を形成する工程を第14図を参照しながら簡単に説明する。

第14図を参照するに、アルゴンあるいはヘリウムカドミウムレーザにより形成された一対のレーザビームがフォトリソを塗布された基板107上に異なる入射角 $\theta_1$ ,  $\theta_2$ で入射される。その際、レーザビームは領域115に対応して高さ $215 \mu\text{m}$ の段差 $H$ を形成された透明な石英板

180 を介して入射される。その際、段差Hの左側に入射したレーザビームの光路長は右側に入射したレーザビームの光路長と異なるため、フォトレジスト上に形成された規則的なレーザビームの干渉パターンに段差Hに対応して変位が生じる。次いで、基板107を上記の過程で露光されたフォトレジストをマスクとしてパターンニングすることで、 $\lambda/4$ シフト領域115が第14図に示すように形成された回折格子102が基板101上に形成される。

次に、本発明の第三実施例を第15図を参照しながら説明する。第15図や、既に説明した部分と同等の部分には同一の参照符号を付して説明を省略する。

第15図を参照するに、本実施例による分布帰還形半導体レーザでは2つの $\lambda/4$ シフト領域115a, 115bが、それぞれ電極108aと109及び電極109と108bの間の隙間に略対応して形成されている。複数のシフト領域115a, 115bをこのように形成することにより、共振器103a中に形成される光強度の分布にピークが2箇所現れ、電極109直下

における光強度分布を一様にする事ができる。より具体的に説明すると、かかる構成により、光強度分布のピーク $P_{max}$ には電極109に対応する程度の揺りが生じ、そのため、電極109に印加された変調信号による発振波長の変調の効率が向上する。換言すれば、第15図の図の構成を採用することにより、レーザダイオードの発振波長を大きく変化させることが可能になる。 $\lambda/4$ シフト領域115a, 115bの位置はピーク $P_{max}$ が電極109に対応した幅でしかも十分な高さで現れるように選べばよく、上記の電極108aと109あるいは電極108bと109の間の隙間に限定されるものではない。

次に、本発明による分布帰還形半導体レーザの別の実施例を第16図を参照しながら説明する。

先に説明した実施例においては、いずれも共振器103a中における光分布が、回折格子103中に $\lambda/4$ シフト領域115を形成することにより人工的に不均一化されている。かかる構成においては、共振器103aの両端において最大で中央において最

- 47 -

小な光強度分布を有する副次モードによるレーザ発振が生じることがある。かかる副次モードでは発振光の波長は電極109に注入される変調信号にほとんど影響されないため、副次モードでの発振は可能な限り抑制するのが好ましい。

第17図は、かかる副次モードの発振を抑制するのに効果的な本発明第四実施例による半導体レーザを示す。第18図を参照するに、本実施例では回折格子102の深さが半導体レーザの長手方向に沿って、両端部L1で浅く、中央部L3で深くなるように変化させられる。回折格子の深さをこのように変化させることにより、共振器103aのQ値が端部L1, L2で小さくなるように変化する。その結果、共振器両端部で大振幅を有する副次モードの発振を効果的に抑止することができると同時に、共振器中央部で大振幅を有する主モードの発振を促進することができる。

次に、共振器103a中で電極109直下の部分にのみ強く平坦な分布を有する光放射を形成するように構成された、本発明の分布帰還形半導体レー

- 48 -

ザの別の実施例について、第17図(A)、(B)を参照しながら説明する。

第17図(A)を参照するに、本実施例においては回折格子102中に、電極109に対応して複数の $\lambda/4$ シフト領域115a, 115b, 115cが形成されており、これに伴って、第17図(B)中に示すように主モードのレーザ発振が共振器103a中に生じる。本実施例ではさらに、回折格子102の深さが第17図(A)に示すように、共振器両端部L1及び電極109下部の中央部L3で浅く、両端部L1と中央部L3の中間の中間部L2で大きくなるように変化させられる。その際、共振器103aの両端部L1で回折格子の深さを浅くすることにより、光波と回折格子の相互作用の程度をあらわす結合定数が減少し、換言すれば両端部L1で共振器103aのQが減少し、両端部L1で最大振幅を有するような副次モードにおけるレーザ発振が効果的に抑止される。一方、電極109に対応する中央部分L3で回折格子102の深さを減少させることにより、電極109に対応して形成される光強度分布

第12図に示すように、電極109の直下で最大で中央部において最小となるように形成される。

のピークを電極109の下部において実質的に平坦な形状になるように形成することが可能になる。

次に、深さが場所により変化する回折格子を半導体基板上に形成する工程について、第18図(A)～(E)を参照しながら説明する。

第18図(A)の工程において、基板107上にはネガレジスト181が塗布され、アルゴンあるいはヘリウム-カドミウムレーザの干渉パターンにより回折格子が露光される。この露光の際、第15図に示したような位相シフト板180が使われる。

次いで、第18図(B)の工程において、ネガレジスト181をマスク基板101をわずかにエッチングして、回折格子に対応した浅い凹凸を形成する。さらに、第18図(C)の工程において、回折格子上の凹凸を浅くしたい部分にポジレジスト182を塗布する。

さらに、第18図(D)の工程において、基板101のうち、ポジレジストあるいはネガレジストで保護されていない部分がより深くエッチングさ

れ、レジスト181,182を除去すると第18図(E)に示す回折格子が得られる。

第19図(A)～(E)は同様な回折格子を形成する別の工程を示し、第19図(A)の工程では第20図(A)の工程と同じく、基板101上に塗布されたネガレジスト181に回折格子のパターンが露光され、第19図(B)の工程で浅い回折格子を形成したい部分がポジレジスト182により保護される。

第19図(C)の工程で第1回目のエッチングを行い基板101のうち、レジストによって保護されていない部分に溝を形成する。次いで第19図(D)の工程でポジレジスト182が選択的に除去され、第19図(E)の工程で第2回目のエッチングがなされる。その際、基板107表面上の先にポジレジストで保護されていた部分には浅い溝が形成される一方、先に形成されていた溝の深さは一層深くなる。さらに、レジスト181を除去することにより、第19図(F)に示す所望の構造が得られる。

- 5 1 -

次に、本発明のさらに別の実施例を、第20図(A)、(B)を参照しながら説明する。図中、先に説明した部分には同一の参照符号を付して、その説明を省略する。

本実施例では回折格子102が電極109直下の部分Lにおいて完全に除去される。その結果、光共振器103a中の部分Lにおいて生じる光分布の鋭いピークは平坦になり、第20図(B)に示すような分布が得られる。このように、回折格子102の一部を除去したような場合でも部分Lの両側の領域における反射のため、部分Lには十分な光強度の集中が起る。従って、電極109に変調信号を印加することにより、効率的な光ビームの周波数変調を行うことが可能になる。

以上、本発明を実施例について説明したが、本発明は以上の実施例に限定されるものではない。

#### (発明の効果)

本発明によれば、変調信号を活性層中に生じる光強度分布が最大になる位置に対応して形成され

た電極に印加することにより、レーザ発振波長を変調信号に応じて効率的に変化させることができ、またレーザ発振波長の変化に伴って生じる発振出力の変化を活性層中の光強度分布が最小になる位置に対応して形成された電極に印加される駆動電流を制御することにより、抑止することが可能となり、振幅が一定なコヒーレント光の周波数変調を効率的に行うことが可能である。

#### 4. 図面の簡単な説明

第1図は本発明の原理説明図、

第2図(A)、(B)は本発明の第一実施例を示す図、

第3図は本発明の半導体レーザの駆動を説明する図、

第4図は従来技術と本発明の実施例との周波数変調効率を比較して示す図、

第5図(A)、(B)は本発明の一実施例の分布帰還形半導体レーザの特性を示す図、

第6図は波長可変で定出力動作可能な分布帰還

形半導体レーザの具体例を示す図、

第7図は波長可変で定出力動作可能な分布帰還形半導体レーザの他の具体例を示す図、

第8図は電極長の比率による周波数可変範囲の  
変化を示す図、

第9図(A)、(B)は本発明の第二実施例を示す平面図及び斜視図、

第10図(A)～(F)は本発明第二実施例の分布槽型形半導体レーザの製造工程を示す図、

第11図(A)、(B)は第10図の工程で使用する矩形マスク及びかかる矩形マスクにより得られる溝を示す図、

第 12 図 (A) ~ (C) は本発明第二実施例の製造工程で使用されるマスク形状を示す図、

第 13 図は第 12 図に示したマスクを使用して形成した溝の形状を示す図、

第14図は1/4波長シフト領域を回折格子中に形成する方法を説明する図、

第15図は1/4波長シフト領域を回折格子中に2個所有する実施例を示す図。

第16図は本モード及び副モードによる光強度分布、及び副モードによる発振を抑制する構造を有する実施例を示す図、

第17図(A)，(B)は副モードによる発振を抑制する構造を有する別の実施例を示す図、

・第18図(A)～(E)は深さが場所により異なる回折格子を形成する工程を示す図、

第19図(A)～(F)は深さが場所により異なる回折格子を形成する別の工程を示す図、

第20図(A)，(B)は光強度が最大になる位置に回折格子を形成しない実施例を示す図、

第 21 図 (A), (B) は従来技術による強度  
変調光通信を示す図、

第 22 図 (A), (B), (C) は従来技術による埋込構造単一電極の半導体レーザを示す図、

第 23 図は従来技術による多電極分布帰還形半導体レーザを示す図、

第24図は従来の分布帰還形半導体レーザの要  
図特性を示す図である。

- 55 -

- 56 -

図において、

- 101 は基板、
- 102 は回折格子、
- 103 は光導波層、
- 104 は活性層、
- 105 はメルトバック防止層、
- 106 はクラッド層、
- 107a, 107b, 107cはコンタクト層、
- 108a, 108b, 109 は電極部分、
- 110 は電極、
- 111 は反射防止膜、
- 112, 113 は埋込層、
- 114, 114' は絶縁層、
- 115 は  $1/4$  波長位相シフト領域、
- 120 はマスク、
- 122 は開口部、
- 141 は溝、
- 142 は電極分離領域、
- 180 は石英板、
- 181, 182 はレジスト

を示す。

特許出願人 富士通 株式会社

代理人 井理士 伊東忠彦

同 井理士 松 浦 兼 行

同 井理士 片 山 修 平



山理印

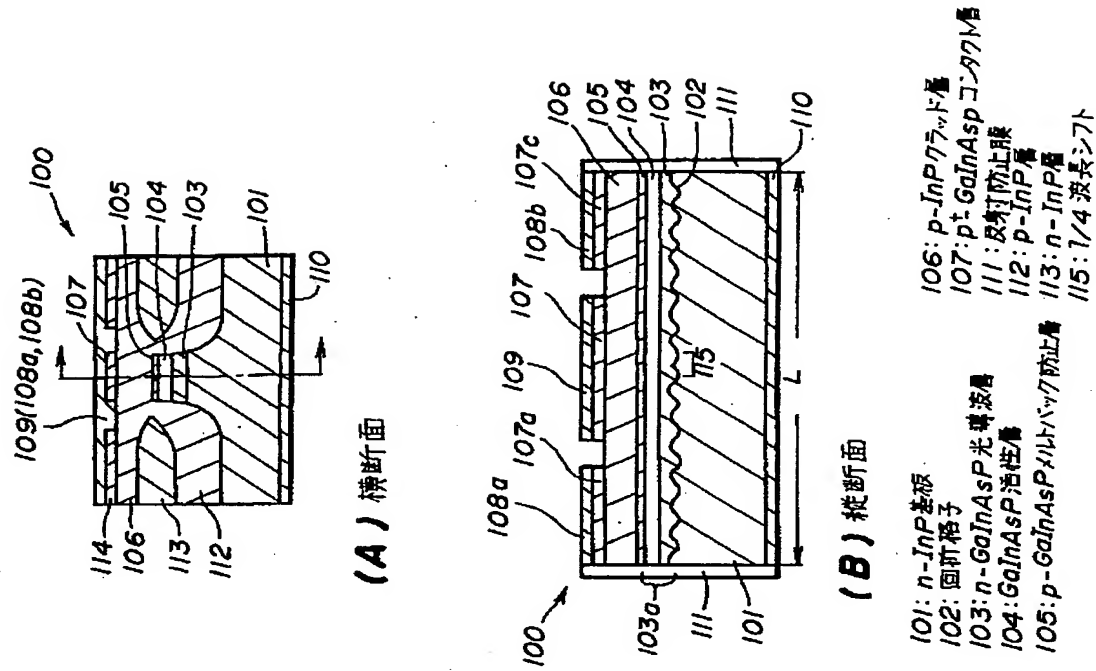
- 57 -

—1227—

- 58 -

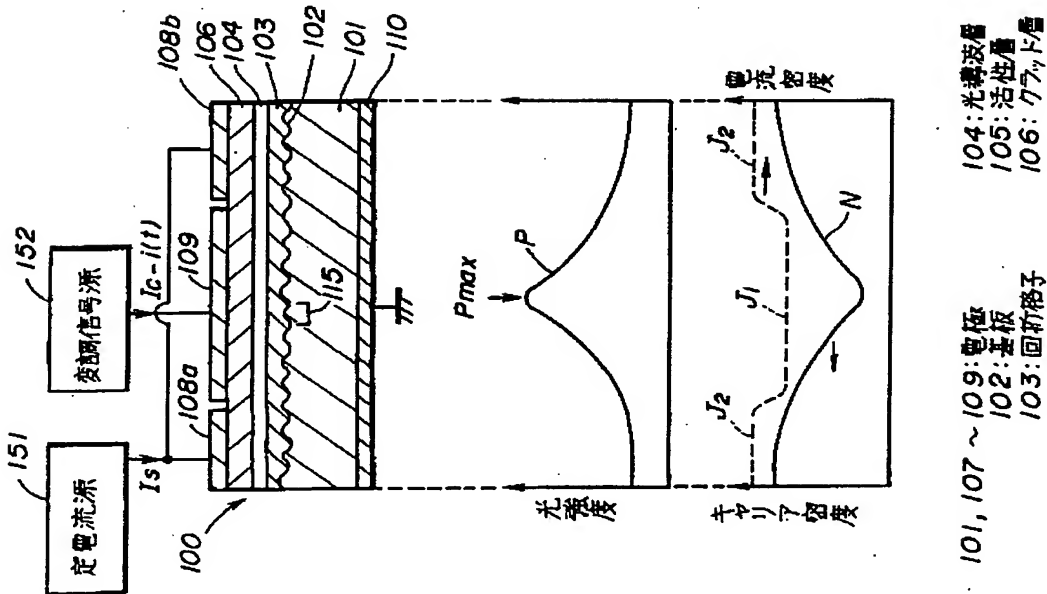
— 1224 —





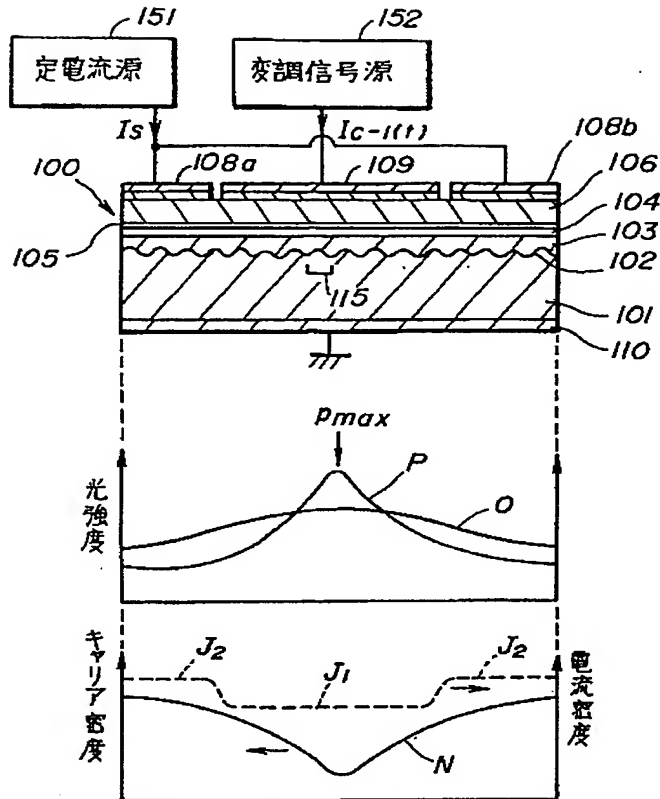
本発明の第 1 実施例を示す図

第 2 図



本発明の原理説明図

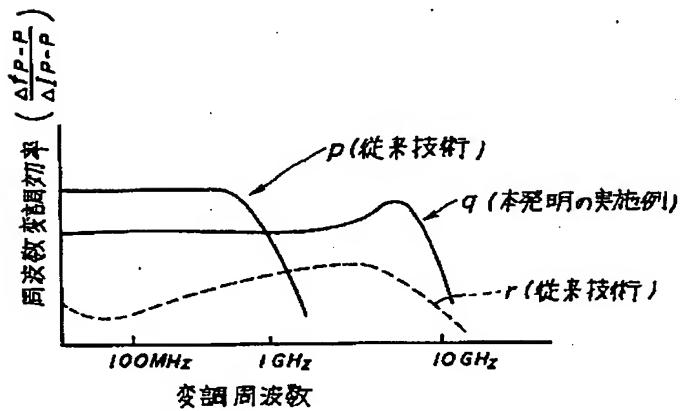
第 1 図



101, 107~109: 電極  
102: 基板  
103: 回折格子  
104: 光導波層  
105: 活性層  
106: クラッド層

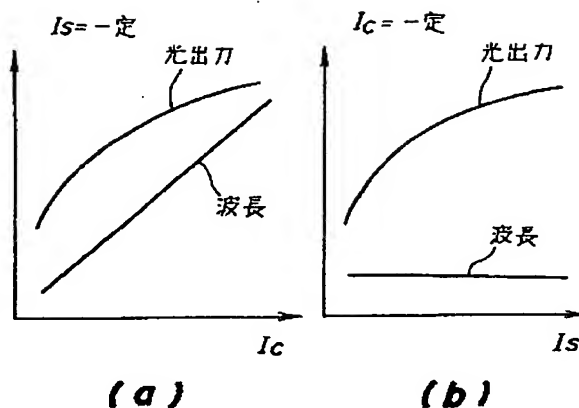
本発明半導体レーザの駆動を説明する図

### 第 3 図



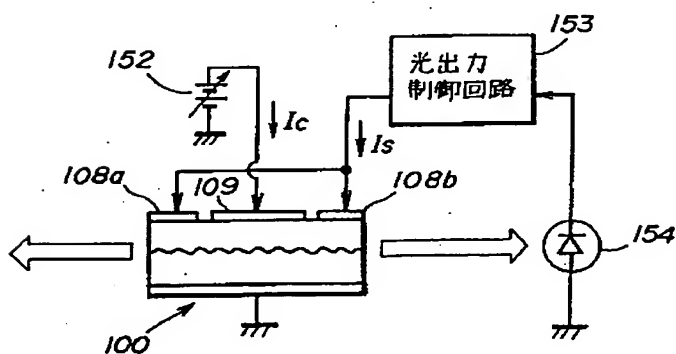
従来技術と本発明の実施例との周波数変調効率を比較して示す図

### 第 4 図



本発明の一実施例の分布帰還形半導体レーザの特性を示す図

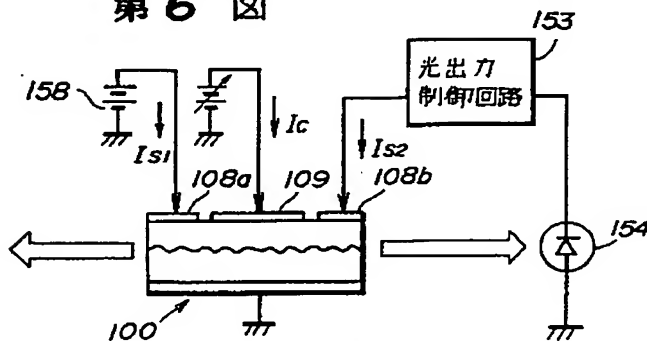
## 第5図



100: 分布帰還形半導体レーザ  
152: 波長可変用電源  
153: 光出力制御回路  
154: 光検出素子

波長可変で定出力動作可能な分布帰還形半導体レーザの一具体例を示す図

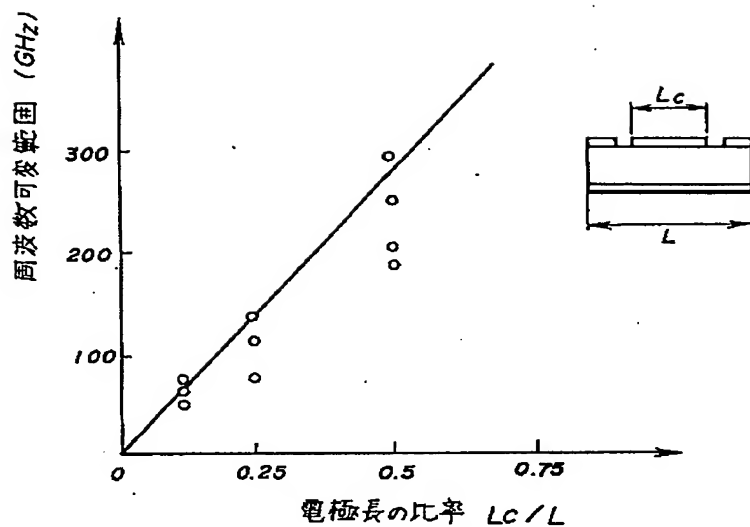
## 第6図



158: 固定電源

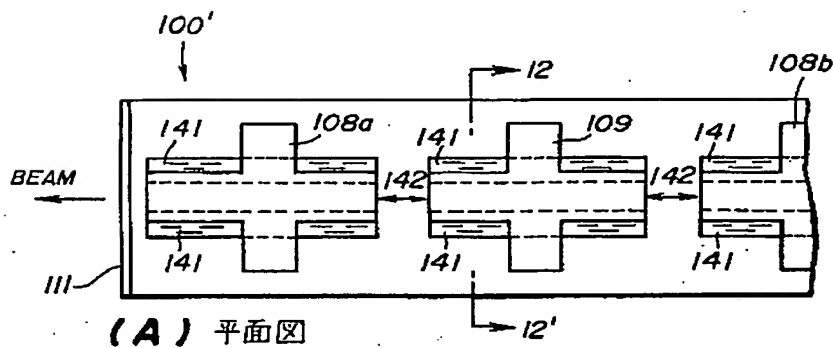
波長可変で定出力動作可能な分布帰還形半導体レーザの他の具体例を示す図

## 第7図



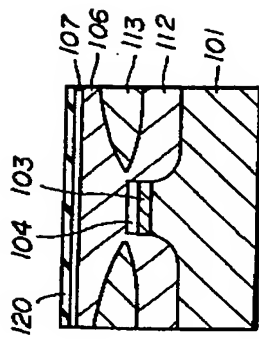
電極長の比率による周波数可変範囲の変化を示す図

第 8 図

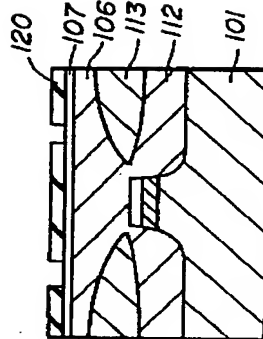


本発明の第2 実施例を示す図

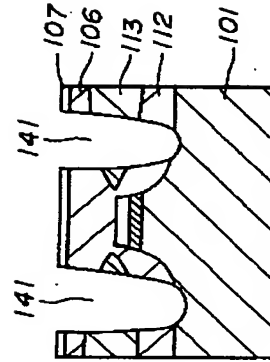
第 9 図 (その一)



(A)



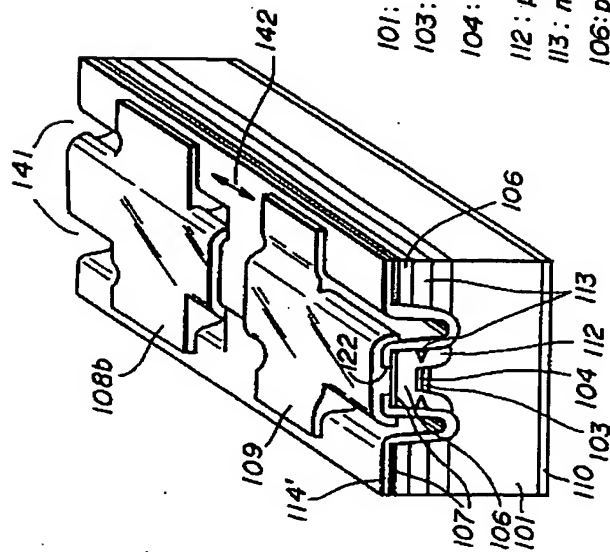
(B)



(C)

本発明第2実施例の分布帰還形半導体レーザの製造工程を示す図

第10図(その一)

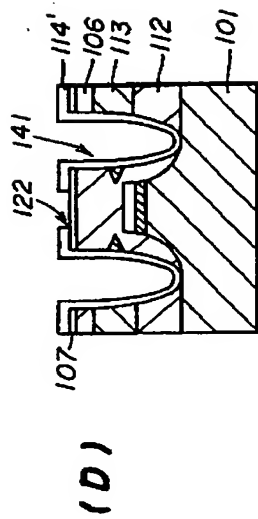


(B) 斜視図

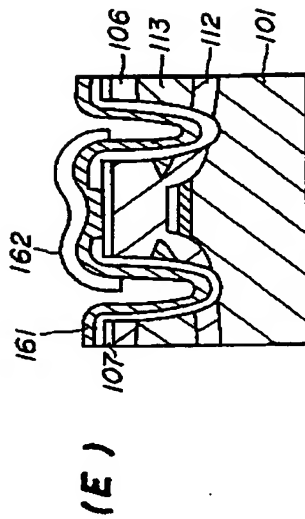
- 101: n型InP基板
- 103: n型GaInAsp光導波層
- 104: I型GaInAsp活性層
- 112: p型InP埋込層
- 113: n型InP埋込層
- 106: p型InPクラッド層
- 107: p型GaInAspコンタクト層

本発明の第2実施例を示す図

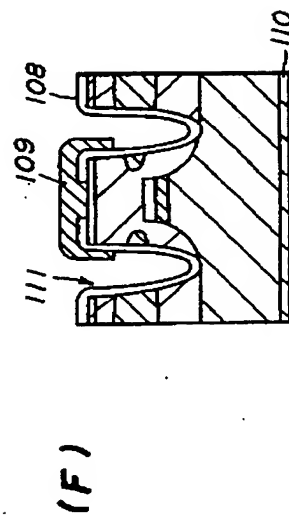
第9図(その二)



(D)



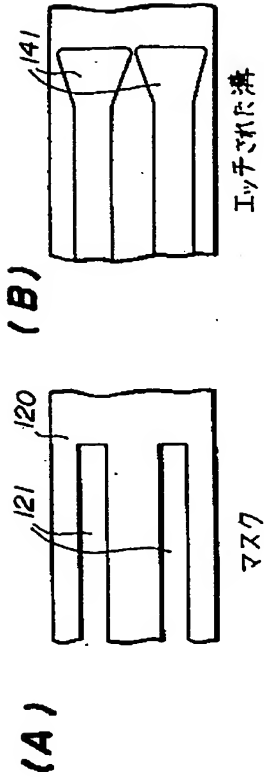
(E)



(F)

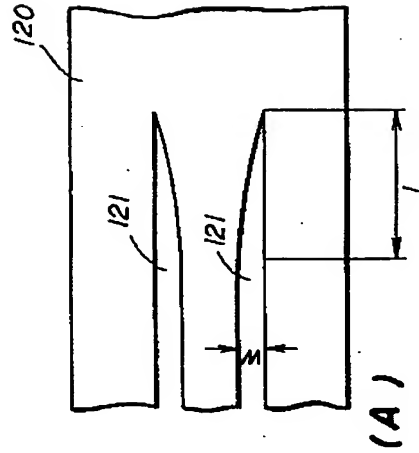
本発明第2実施例の分布隔壁形半導体レーザの製造工程を示す図

第10図(その二)



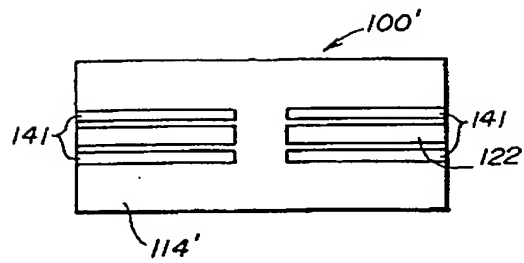
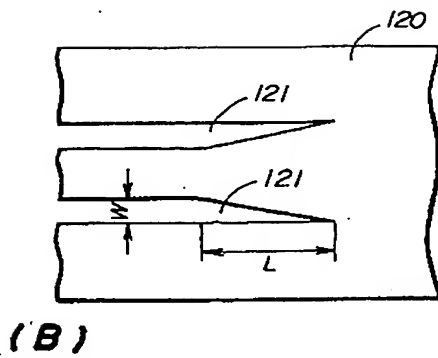
矩形マスク及びかかる矩形マスクにより得られる溝を示す図

第11図



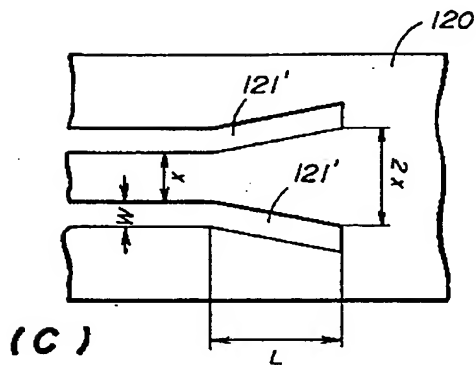
本発明第2実施例の製造工程で用いられるマスク形状を示す図

第12図(その一)



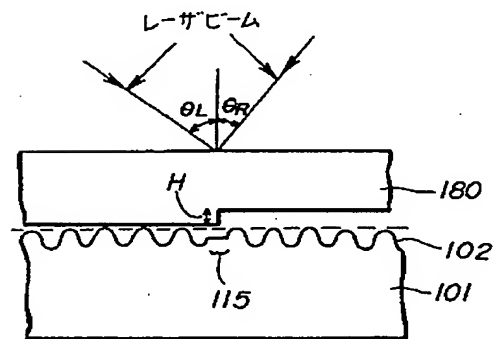
第12図に示したマスクを使用して形成した溝の形状を示す図

第13図



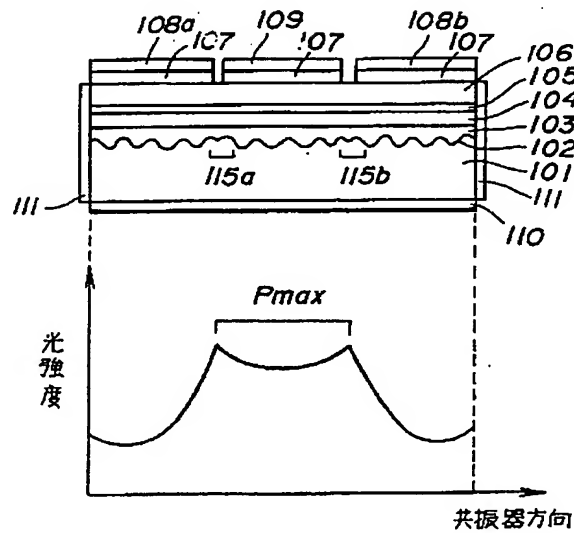
本発明第2実施例の製造工程で使用されるマスク形状を示す図

第12図(その二)



1/4波長シフト領域を回折格子中に形成する方法を説明する図

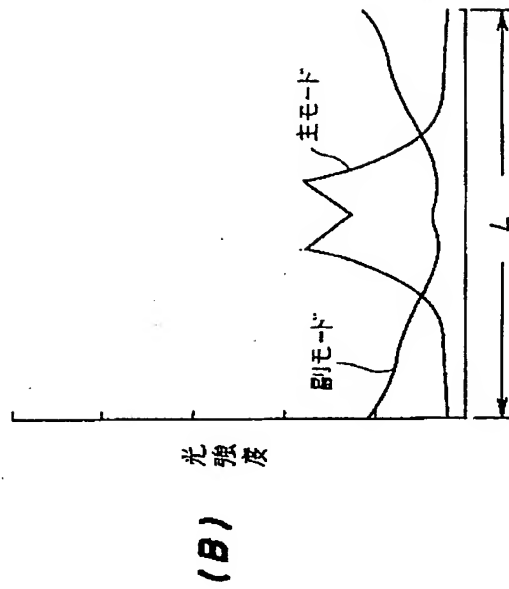
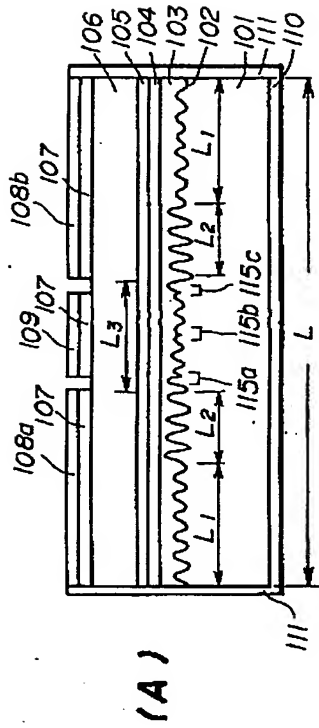
第14図



1/4波長シフト領域を回折格子中に2箇所有する実施例を示す図

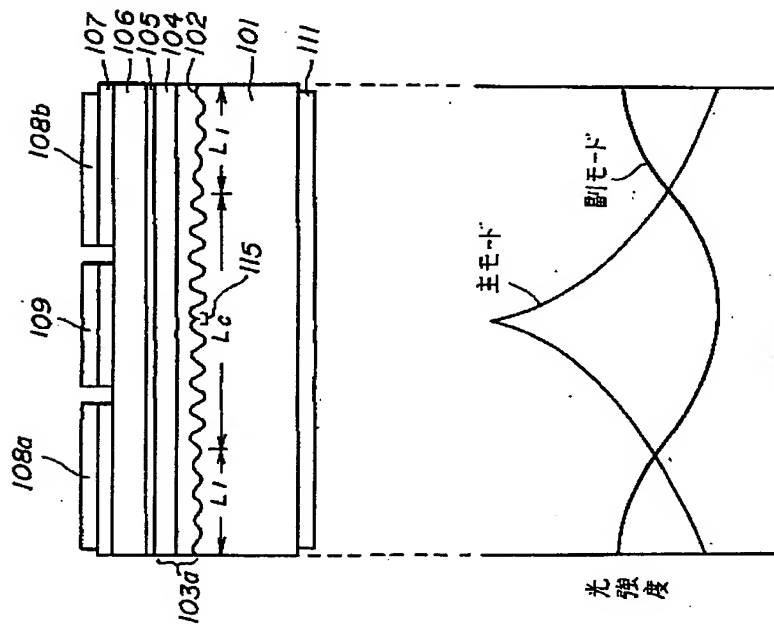
第15図





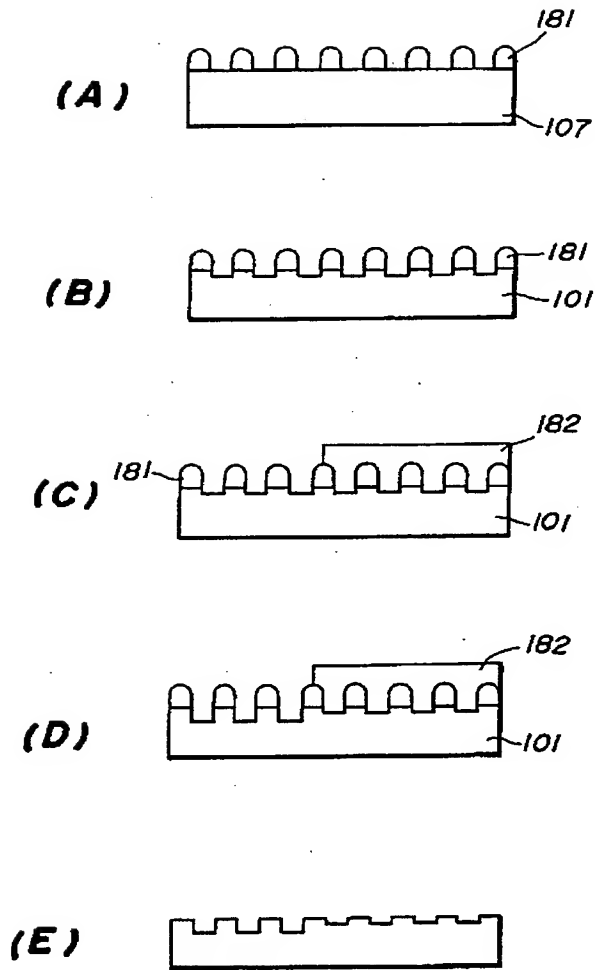
副モードによる発振を抑制する構造を有する別の実施例を示す図

第17図



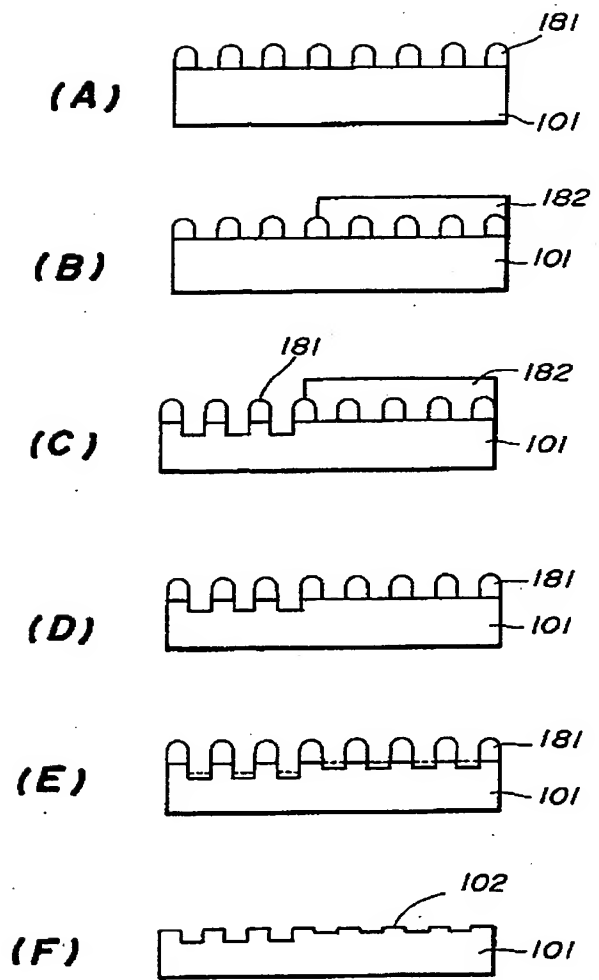
主モード及び副モードによる光強度分布、及び副モードによる発振を抑制する構造を有する実施例を示す図

第16図



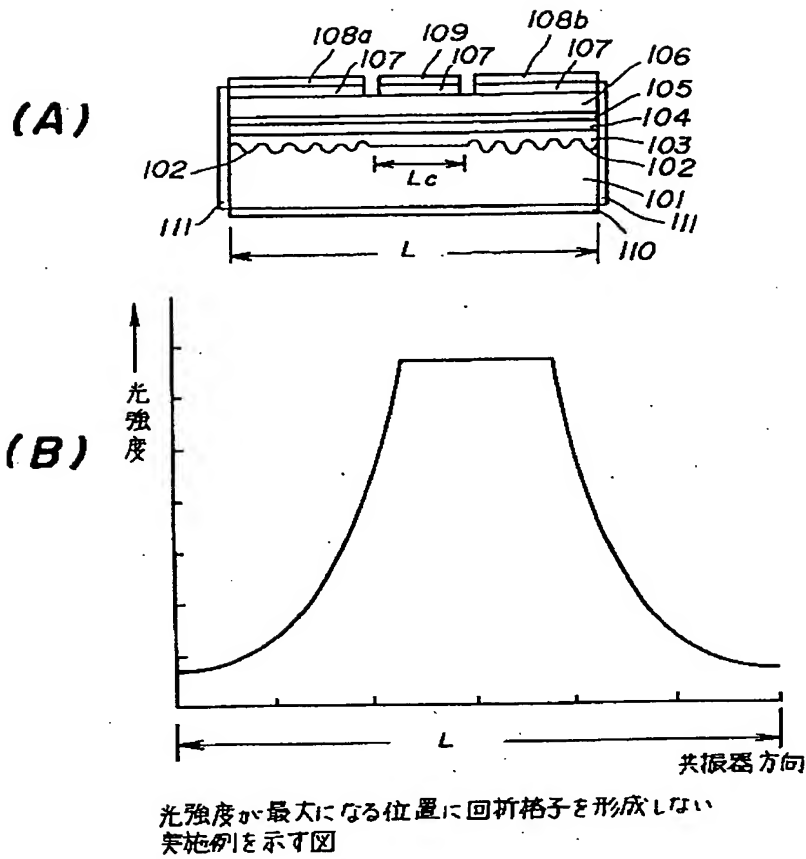
深さが場所により異なる回折格子を形成する工程を示す図

第18図

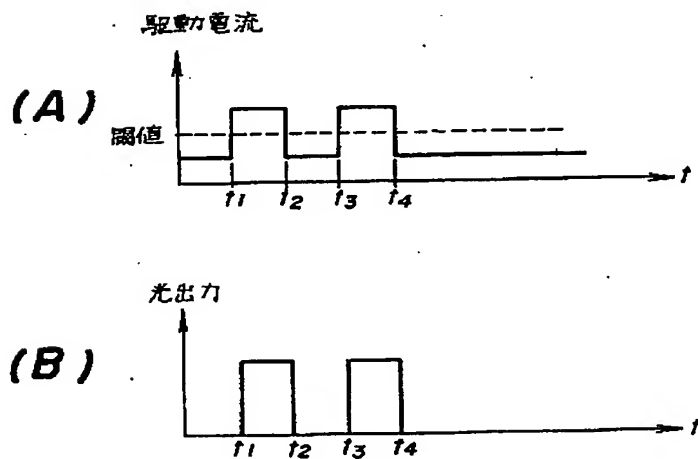


深さが場所により異なる回折格子を形成する工程を示す図

第19図

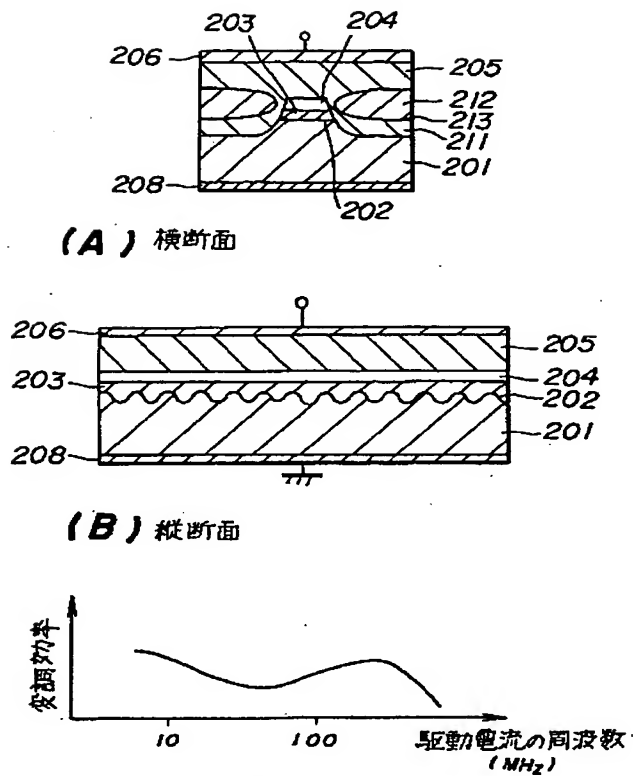


第20図



従来技術による強度変調光通信を示す図

第21図

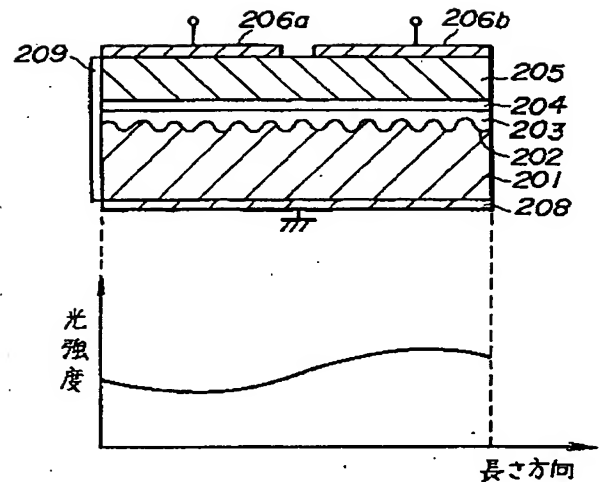


201: n 型基板  
202: 回折格子  
203: 光導波層  
204: 活性層  
205: p 型クラッド層

206: p 側電極  
208: n 側電極  
211: p 型埋込層  
212: n 型埋込層  
213: pn 接合

従来技術による埋込構造単一電極の半導体レーザを示す図

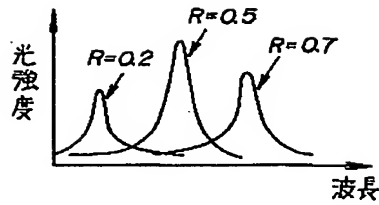
第22 図



206, 207: 多電極

従来技術による多電極 DFB レーザを示す図

第23 図



従来の分布帰還形半導体レーザの  
変調特性を示す図

## 第24 図

第1頁の続き

優先権主張

⑧平1(1989)9月12日⑨日本(JP)⑩特願 平1-235928

⑧平1(1989)9月12日⑨日本(JP)⑩特願 平1-235929

⑧平1(1989)9月12日⑨日本(JP)⑩特願 平1-235930

⑪発明者

松田

学

神奈川県川崎市中原区上小田中1015番地 富士通株式会社  
内

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**